

МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ
И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

УДК 674.047.9

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ВЛАГОПЕРЕНОСА
В ПРОЦЕССЕ СУШКИ ДРЕВЕСИНЫ

Г. С. ШУБИН

Московский лесотехнический институт

Литература по исследованию общих и частных закономерностей миграции влаги внутри древесины достаточно обширна (см. краткий обзор в нашей монографии [15]). Она может быть дополнена также рядом источников [3, 9, 11, 13, 14, 20].

Несмотря на длительное изучение влагопереноса в процессе сушки древесины некоторые вопросы по-прежнему остаются неясными. Например, возникшая в последние годы в зарубежной литературе [16, 17, 19] и нашедшая отражение в работе [11] дискуссия о движущих силах переноса влаги при влажности ниже предела насыщения клеточных стенок. В основном обсуждали два вопроса: 1) состоятельность закона диффузии Фика как такового; 2) применимость этого закона к процессам сушки древесины.

Некоторые авторы считают закон диффузии Фика несостоятельным в силу того, что концентрация, по их мнению, не имеет качеств потенциала. Действительно, если обратиться к Шредингеру [12], то он пишет, что процесс диффузии не связан с какой-либо силой. Но, во-первых, отметим, что статистическая физика допускает перенос без потенциала [8]. Во-вторых, Шредингер также пишет, что хотя молекулы разных веществ, находящихся в смеси, равноправны и могут двигаться в разных направлениях, преимущественное их перемещение будет происходить в сторону меньшей концентрации, т. е. «...будет происходить регулярное перемещение ... пока, наконец, не наступит равномерное распределение» [12]. Отсюда очевидно, что хотя силы переноса нет, но есть сам перенос и его причина — разность концентрации. Это как раз то, что фиксируется законом Фика и согласуется с его трактовкой, данной акад. В. В. Кафаровым: «...Фик установил, что при данной температуре и давлении возникает скорость транспорта, пропорциональная только градиенту концентрации» [2]. Наконец, отметим, что состоятельность закона Фика была тщательно экспериментально доказана известным русским физиком Умновым около 100 лет тому назад, когда было показано, что закон Фика совершенно точен в изотермических условиях при относительно низких концентрациях (цитируется по работе [8]).

Ограничения в применении закона Фика для элементов древесины (не свободная среда) отмечены в различных работах. Анализ их приведен в сборнике [3], появившемся еще до возникновения дискуссии. Коэффициенты диффузии водяного пара в воздухе в зависимости от температуры хорошо известны [4]. Они существенно, на несколько порядков, отличаются от аналогов коэффициентов диффузии — коэффициентов влагопроводности, которые подставляют в уравнения, аналогичные закону Фика.

Этим фактически подтверждается, что в чистом виде закон Фика для описания переноса массы в древесине не используют. Тем не ме-

нее, этот закон (будучи феноменологической записью того, что перенос пропорционален градиенту концентрации) достаточно работоспособен и для древесины с учетом сказанного, в частности, когда используют эффективные коэффициенты влагопроводности, полученные не зависимым от уравнений способом — методом стационарного тока влаги. Дополнительно к тем аргументам, которые высказывают противники закона Фика, можно добавить, что этот закон, как и закон теплопроводности Фурье, предполагает бесконечную скорость распространения импульса, которая реально таковой не является, что не ставит, однако, под сомнение закон Фурье.

Закон Фика предполагает перенос под влиянием разности концентрации, что менее универсально, чем перенос под влиянием парциального давления пара, который способен учесть и неизотермические условия. Но это не порок закона Фика, для этих условий он не предназначался никогда, точно так же, как не предназначался он для вскрытия особенностей микромеханизма переноса массы.

Высказанные в ходе дискуссии предложения о замене градиента концентрации градиентом двумерного давления [16, 17] не выдерживают критики, так как двумерное давление имеет место только в мономолекулярном слое, т. е. в диапазоне от 0 до 4...5 % влажности, что для практических процессов вообще не имеет значения.

Представления Б. С. Чудинова [11] о том, что различные слои в общем адсорбционном слое находятся на разных энергетических уровнях, верны. Однако отсюда можно сделать разные выводы, в том числе о том, что каждый слой в общем адсорбционном слое имеет свою концентрацию и свой коэффициент диффузии D , а общий суммарный эффект переноса в принципе может быть записан, например, в следующем виде:

$$q' = \frac{1}{\delta} \int_0^{\delta} q'_i(x) dx, \quad (1)$$

где δ — общая толщина адсорбционного слоя.

В физической химии вообще не существует проблем с определением потенциала переноса: во всех случаях им считают химический потенциал, описывающий любой механизм.

Хотя в результате дискуссии не появилось новых конкретных предложений о замене закона Фика, в целом дискуссия оказалась, безусловно, ценной, так как привлекла внимание исследователей к необходимости более детального проникновения в физику микромеханизмов процесса и к поискам новых путей в этом направлении.

Наш взгляд на механизм переноса влаги в древесине изложен в работе [15]. Не разбирая этот вопрос детально, внесем в него некоторые пояснения.

1. В своих построениях мы первоначально учитывали гипотезу А. И. Фоломина [10], в соответствии с которой в древесине по мере ее нагревания освобождаются от влаги мельчайшие микрокапилляры, которые, по нашим представлениям, могли быть проводниками влаги, переносимой эффузионно [15]. Однако гипотеза А. И. Фоломина должна была быть подтверждена или отвергнута в опытах. В связи с этим нами позднее был выполнен специальный эксперимент по прогреву влажной и сухой древесины.

Прогреву в воде ($t = 80^\circ\text{C}$) подвергли образцы сосновой и буковой древесины со строго фиксированными размерами. Опыт длился 70 мин. За это время влажные буковые образцы (длина 5 см) потеряли (вследствие выдавливания воды при повышении давления паровоздушной смеси) 24...27 % влаги (от 100...101 до 76...74 %), а сосновые 13...15 % (от 87...89 до 72...74 %). Если бы при этом освобождались мельчайшие капилляры, древесина усохла бы. Замеры после опыта показали, что этого не произошло.

Так, размеры букозных влажных образцов в радиальном направлении изменились в разных местах по длине от 19,25 до 19,23 мм и от 20,14 до 20,10 мм, в тангенциальном направлении — от 21,72 до 21,70 и от 21,66 до 21,67 мм. Изменение размеров влажных сосновых образцов в этих же условиях в радиальном направлении составило от 21,38 до 21,39 мм и от 21,64 до 21,60 мм, в тангенциальном направлении — от 21,38 до 21,40 и от 21,66 до 21,65 мм.

Гипотеза А. И. Фоломина, таким образом, не подтвердилась, в связи с чем следует признать, что эффузионный механизм переноса влаги, который может иметь место только в микрокапиллярах, не имеет существенного значения в переносе влаги в древесине. Большее значение он может иметь при сушке древесины, имеющей постоянные неусыхаемые пустоты в стенках клеток [14].

2. Следует согласиться с Б. С. Чудиновым [11], что основной движущей силой переноса влаги по микрокапиллярам в стенках клеток, которые в сухом состоянии ссыхаются, является градиент расклинивающего давления [1, 6], а в постоянных неусыхаемых микрокапиллярах — градиент капиллярного давления. Расклинивающее давление p_p может иметь место только в пленках адсорбированной воды в стенках клеток, испытывающих сжимающее давление структурных элементов древесины. Оно зависит от толщины пленки H и по данным А. В. Лыкова [6] может быть представлено в виде

$$p_p = A/H^3, \quad (2)$$

где A — постоянная, равная $5 \cdot 10^{-21}$ Дж.

Если толщина пленки непостоянна по длине капилляра, то возникает движение жидкости под влиянием градиента расклинивающего давления:

$$q'_{пл} = k_{пл} \nabla p_p. \quad (3)$$

Здесь $k_{пл}$ — коэффициент пленочного движения жидкости, равный [6]:

$$k_{пл} = \frac{2\pi r H^3}{3\eta v_m}, \quad (4)$$

где v_m — молярный объем пленки;

η — коэффициент динамической вязкости;

r — половина толщины пленки.

А. В. Лыков [6] записал для одномерной задачи выражение (3) в следующем виде:

$$q'_{пл} = \frac{B}{\eta H} \frac{dH}{dx}. \quad (5)$$

Здесь B — некоторая постоянная [6].

Следовательно, интенсивность пленочного переноса под влиянием расклинивающего давления $q'_{пл}$ пропорциональна градиенту толщины пленки и, следовательно, градиенту влажности. Отсюда следует, что градиентом концентрации (в данном случае — влажности) можно заменить истинную силу переноса, что позволяет использовать для этой зоны аналог закона диффузии — закон влагопроводности.

3. Анализируя вопрос о соотношении между количеством пара и жидкости, удаляемых из тела, по мере снижения влажности, мы пришли к выводу, что доля пара увеличивается [15], так как при этом возрастает величина критерия фазового перехода ε [7, 15]. Физически это можно представить себе таким образом, что объем жидкой влаги по мере сушки уменьшается (стенки усыхают), а объем водяного пара остается практически постоянным (полости клеток не изменяют свой объем). Отсюда относительная объемная доля пара со снижением

влажности повышается точно так же, как и массовая его доля (при $\varphi = \text{const}$), из чего, однако, не следует, что появился или тем более увеличился перенос пара в стенках клеток. О повышении роли переноса пара по мере снижения влажности можно заключить также из работ [5, 18].

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Дерягин Б. В. К вопросу об определении понятия и величины расклинивающего давления и его роли в статике и кинетике тонких слоев жидкости // Коллоид. журн.—1955.—Т. 17, № 3.—С. 207—214. [2]. Кафаров В. В. Основы массопередачи.—3-е изд.—М.: Высш. шк., 1979. [3]. Клеточная стенка древесины и ее изменения при химическом воздействии.—Рига: Зинантне, 1972.—501 с. [4]. Краткий справочник по физике // Н. И. Карякин и др.—М.: Высш. шк.—560 с. [5]. Луцки П. П. Закономерности внутреннего тепло- и массопереноса при наличии избыточного давления в пористом материале в процессе конвективной сушки // Всес. науч.-техн. конф. по совершенствованию сушки.—Минск, 1981.—Секция 1.—С. 129—131. [6]. Лыков А. В. Теория сушки.—М.: Энергия, 1968.—470 с. [7]. Лыков А. В. Теория тепло- и массообмена в процессах сушки.—М.: Госэнергоиздат, 1956.—464 с. [8]. Путилов К. А. Курс физики.—5-е изд.—М.: Просвещение, 1952.—Т. 1.—792 с. [9]. Серговский П. С. Исследование влагопроводности и разработка методов расчета процессов сушки и увлажнения древесины: Автореф. дис... д-ра техн. наук.—М., 1953.—42 с. [10]. Фоломин А. И. Физические основы тепловой сушки древесины и особенности ее сушки в неводных жидкостях.—М., 1956.—46 с. [11]. Чудинов Б. С. Вода в древесине.—Новосибирск: Наука, 1984.—267 с. [12]. Шредингер Э. Что такое жизнь? С точки зрения физики.—М., 1972.—88 с. [13]. Штамм А. Поверхностные свойства целлюлозных материалов / Пер. с англ. // Химия древесины. Т. 2.—М.; Л.: ГЛБИ, 1960.—557 с. [14]. Шубин Г. С. Сушка и тепловая обработка древесины (вопросы теории, методы расчета процессов, совершенствование технологии): Автореф. дис... д-ра техн. наук.—М., 1985.—48 с. [15]. Шубин Г. С. Физические основы и расчет процессов сушки древесины.—М.: Лесн. пром-сть, 1973.—248 с. [16]. Babbit I. D. More on application of Fick's Law // Wood Sci.—1977.—N 9.—P. 149—152. [17]. Bramhall G. Fick's Law and bound-water diffusion // Wood Sci.—1977.—N 6.—P. 153—161. [18]. Choong E. T., Fogg P. I. Moisture Movement in six wood species // Forest Prod. J.—1968.—N 10.—P. 417—419. [19]. Rosen H. N. Diffusion theories and pair matching samples // Wood sci.—1977. V. 9. P. 1—3. [20]. Skaar G. H. Water in wood.—New York.—1972.—218 p.

Поступила 12 мая 1989 г.

УДК 674.093

О РАСКРОЕ ПИЛОВОЧНЫХ БРЕВЕН НЕПРАВИЛЬНОЙ ФОРМЫ

С. Г. ЕЛСАКОВ, Р. Е. КАЛИТЕЕВСКИЙ

Ленинградская лесотехническая академия

Значительная доля (до 30 %) пиловочных бревен, поступающих на лесопильные предприятия отрасли, имеет кривизну до 2 %. Кроме того, практически каждое бревно в поперечном сечении имеет отклонения от формы круга. У пиловочника хвойных пород, полученного из нижней и срединной частей ствола, диаметры (по данным проф. Н. П. Анучина) различаются на 3,1...3,7 %. При среднем диаметре 30 см эллиптичность возможна у 80 % бревен.

Считают, что каждый процент кривизны дает снижение выхода пиломатериалов на 8...10 %. Эллиптичность бревен влияет на изменение ширины и толщины спецификационных пиломатериалов. Поэтому выбор поставка необходимо осуществлять с учетом как кривизны, так и эллиптичности. Из-за неправильной установки кривых брусков перед раскромом общий выход пиломатериалов из них уменьшается до 2,5 % [9]. Невозможность визуального определения оптимальной обрезки кривых досок также приводит к значительным потерям древесины.